

추계학적 방법에 의한 한발의 특성 분석

Analysis of Drought Characteristics by the Use of Stochastic Method

정 상 만* / 신 현 민**

Jeong, Sang Man / Shin, Hyun Min

Abstract

This study examines the duration and severity of droughts by the use of stochastic process considerations. The key annual flow statistics are used to estimate the related statistics of drought probability distributions for various combinations of return period and water demand. This study efforts initially focused on analyzing all the nation streamgage records that were judged to meet certain selection criteria, including those of record length, record quality. These analyses resulted in the determination of those annual flow statistics necessary to define the behavior of drought sequences for the selected streams. Using prior research results, the actual or estimated flow statistics are related to the probability distributions of maximum drought events, through the application of the theory of runs. This has resulted in assigning return periods to drought events at gaged locations, and permits an assessment of the probabilities of observed historical drought within the nation.

Keywords: drought, stochastic method, theory of runs, drought characteristics

요 지

본 연구는 추계학적 과정을 고려함으로써 연유출의 핵심적 통계치를 한발 확률 분포에 관련된 통계치로 유도하는데 사용하여 재현 기간과 물 수요의 다양한 조합에 대하여 한발 기간과 누가부족유출량을 산정함으로써 한발의 심각성을 검토하였다. 초기 단계에서는 기록기간, 기록의 질을 특정 기준에 적합한 것으로 판정된 우리 나라의 하천 관측 기록의 분석을 실시하고 분석에 의하여 선택된 하천의 연속 한발에 대한 추계학적 형태를 정의하는데 필요한 연유량을 결정하였다. 앞의 연구 결과를 사용하여 연속 이론을 적용함으로써 실제 또는 추정된 연유량 통계치를 최대 한발 사상의 확률 분포와 연관시켰다. 이 결과로 계측 지점에서의 한발 사상에 재현 기간을 부여할 수 있었으며 한발 기록의 확률 평가가 가능하였다.

핵심용어 : 한발, 추계학적 방법, 연속이론, 한발의 특성

* 공주대학교 토목환경공학과 부교수

Associate Prof., Dept. of Civil and Envir. Engrg., Kongju National Univ., Kongju, Chungnam 314-701, Korea

** Texas A&M Univ. 토목공학과 박사과정, 前 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

Doctoral Student, Dept. of Civil Engrg., Texas A&M Univ., College Station, Texas, 77843, U.S.A.
(Formerly Senior Researcher, Water Resources Eng. Div., Korea Inst. of Construction Technology, Koyang, Kyonggi 411-410, Korea.)

1. 서론

수자원 개발과 관련된 대부분의 공학적 적용에서는 물의 직접적인 이용에 목적을 두기 때문에 일반적으로 유출량을 기준으로 한발을 정의하고 각종 분석을 한다. 이러한 유출량에 기반을 둔 한발의 연구는 주로 한발의 세 가지 특성(성분)에 대한 분석에 관심이 집중된다. 즉 갈수의 지속기간, 부족량의 평균, 부족량의 심각성 등이 한발 연구의 주된 관심사라 할 것이다.

한편 효율적인 물 관리를 위한 대책 마련이 요구되는 현 시점에서 우리 나라 한발의 특성과 갈수량을 한발 연구의 근거를 이루는 연속(runs) 이론을 이용하여 분석하는 것이 필수적이라 하겠다.

우리 나라의 장기간 동안의 한발특성과 갈수량 분석을 위한 본 연구는 한국건설기술연구원의 데이터베이스를 이용하여 수위자료로부터 연 유량을 계산하고 자료기간, 자료의 질, 지천, 댐조절 등을 분석한다. 자료의 연장을 위하여 추계학적 모형을 사용하여 주요지점(key station)과 종속지점(subordinate station)을 자료간의 상관성과 자료의 중복(data overlap) 기간 등을 고려하여 결정한다. 한발의 성향을 점검하는 방법으로서 유출량의 기본 수준(truncation level)을 확립하고 이 기본 수준에 대하여 양(플러스)과 음(마이너스)의 이탈을 분석하는 음의 연속(negative runs)이론을 이용한다.

본 연구는 음의 연속이론을 적용하여 각 연구 대상 관측지점에서의 한발의 기간과 심각성에 대하여 확률분포를 이용한 특성을 분석하고자 한다. 또한 한발의 추계학적 성향을 평가하기 위하여 연속된 연 유출량 자료로부터 기본 통계치를 산정하고 추계학적 모형을 이용하여 자료를 모의발생시켜 한발의 위험도를 평가하고자 한다.

2. 음의 연속에 의한 한발 정의 방법

한발을 정의하고 특성화하기 위한 방법론에는 아직 까지도 일치된 견해를 도출하지 못하고 있다. Dracup 등(1980)은 한발의 결과에 관심을 갖는 다양한 학술적 분야에서 제시되는 대치되는 개념 때문에 이러한 문제가 야기된다고 주장하였다. 상당수의 앞선 연구들(Beard 등, 1972; Gupta, 1975; Herbst 등; Whipple, 1966)은 분석에 포함되어야 하는 잠재적인 통계적 특성의 배열로 하천 유량, 강우량, 토양 수분에 근거한 상이한 접근 방법을 제안하였다.

수자원 개발에 관계되는 대부분의 공학적 응용에 있어서는 수문 과정에 기원한 정의가 가장 유용하므로, 수문순환계의 입력인 경우보다는 하천 유량으로 정의되는 한발을 집중적으로 다룬다. 이와 같이 하천 유량의 분석에 근거하여 한발을 정의하는 방법은 하천 유량의 세 가지 성분을 사용하여 특성화하는 것이 일반적이다(Dracup 등, 1980). 즉, 저유량의 지속기간, 평균 부족량, 그리고 누가 부족량 등 한발의 심각성을 이용하여 한발을 평가할 수 있다.

2.1 연속 이론

하천의 저유량 특성을 검토하는 가장 유용한 방법은 하천 유량의 기준(truncation level)을 설정하고 이 기준으로부터 양 또는 음의 이탈을 분석하는 연속이론(Millan과 Yevjevich, 1971; Guerrero-Salazar와 Yevjevich, 1975)을 적용하는 것이라고 할 수 있다. 한발 분석에서는 음의 이탈이 일차적 관심사이므로 각각의 한발 사상에 대한 두 가지 결정적 매개변수는 설정된 유량보다 작은 유량이 흐르는 음의 연속의 전체 지속 기간과 누가부족량의 크기이다. 이러한 방법에 의해 한발을 정의함에 있어서 결정적 기간에 대한 음의 연속의 기간과 누가부족량에 확률을 부여하는 것이 해결해야 할 문제로 남아 있다. 특히 단기간의 기록에서는 더욱 어려운 문제이지만 이 방법은 다년간 지속되는 사상뿐만 아니라 연중 한발 사상에 대한 평가를 가능하게 해준다.

그림 1은 연유량 기록에 대한 연속이론의 적용을 설명하기 위하여 본 분석에서 사용된 왜관 지점의 연유량 자료를 나타낸 것이다. 설정된 기준 유량, X_0 에 대하여 X_0 보다 작은 모든 유량은 부족년 또는 음의 연속을 나타낸다. 각 음의 기간의 지속 기간은 연속기간 L 로 정의되며, 그 기간의 총 부족량은 음의 합이 된다. 39년간의 기록으로부터 최대 음의 연속 기간, L_{max} 는 5년(1973~1977), 최대 음의 연속의 합, S_{max} 는 91,800m³/sec-days로 나타났다.

연속 분석을 위한 기준유량은 일반적으로 다음과 같이 q_0 의 함수로 표시된다.

$$q_0 = P(X \leq X_0) \quad (1)$$

여기서 X 는 연유량을 나타낸다.

$q_0=0.2$ 는 80%의 연유량이 기준 유량을 초과함을 의미하며, $q_0=0.5$ 는 50%가 초과하게 됨을 의미한다.

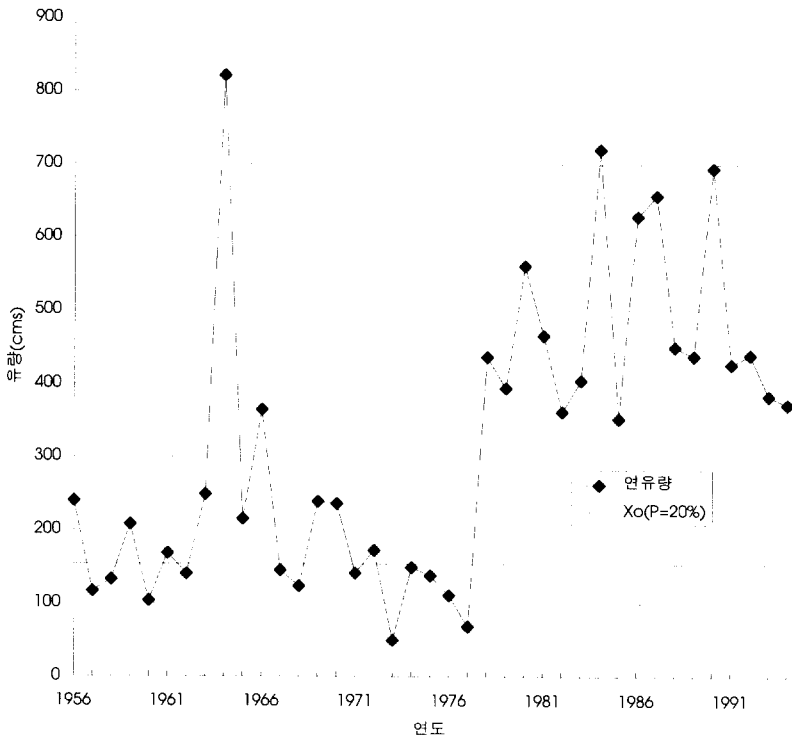


그림 1. 왜관 지점의 실측 연유량에 대한 연속 분석

q_0 값이 감소함에 따라 X_0 값 또한 작아지며 보다 소수의 유량이 음의 연속사상으로 정의된다. 정규분포를 따르는 유량에 있어서 각 X_0 값에 대한 확률은 표준화된 정규분포로부터 결정할 수 있다. 기준 유량 X_0 는 다음 식과 같이 표현할 수 있으며, K_0 는 정규분포를 따르는 빈도 계수를 사용하면 된다.

$$X_0 = \bar{X} + S_x K_0 \quad (2)$$

여기서 \bar{X} 와 S_x 는 각각 연유량계열의 평균과 표준편차를 나타낸다.

그러나 일반적으로 확률은 관측유량의 평균과 표준편차는 물론 왜곡도를 고려할 수 있는 Pearson Type III 분포에 의해 근사화시킬 수 있다. 표 1은 Pearson Type III 분포에서 왜곡도 계수에 따른 빈도계수(K_0)를 제시하고 있다. 따라서 표 1에서 세개의 선정된 q_0 와 왜곡도 계수(g)값의 범위에 따른 K_0 의 값을 나열하면 주어진 q_0 와 g의 조합에 대해 K_0 의 값을 임의의 0.0과 2.0 사이의 g값에 대하여 결정할 수 있

표 1. g와 q_0 의 함수로 주어지는 K_0 의 값

왜곡도계수(g)	$q_0 = 0.50$	$q_0 = 0.35$	$q_0 = 0.20$
0.0	0	-0.389	-0.842
0.5	-0.083	-0.453	-0.857
1.0	-0.164	-0.506	-0.852
1.5	-0.240	-0.545	-0.825
2.0	-0.307	-0.566	-0.777

으며 결과적으로 기준 유량, X_0 를 계산할 수 있다.

2.2 한발을 정의하는 추계학적 방법

연구자들은 하천 유출 과정의 추계학적 특성을 인식해 왔으며, 통계적 또는 추계학적 과정의 모의에 의하여 확정론적 모형이 갖는 몇몇 결점을 극복하기 위한 시도를 해왔다. 최근에는 한발의 행태를 장기간의 추계학적 하천 유출 과정의 부분으로 가정하고 다양한 형태의 추계학적 하천 유량 발생 모형의 적용성을 상세하게 검토하여 왔다.

추계학적 방법을 통하여 한발사상을 모의하는 능력

에 대하여 연구자들은 일치된 결론을 도출하지 못하고 있다. Askew 등(1971)은 대체적으로 추계학적 발생 결과가 실제 기록에 의한 것보다 한발기간을 짧게 나타내는 경향이 있다는 결론을 제시하고 있으나 Millan과 Yevjevich(1971)는 이러한 결론을 뒤집고 있다. 또한, Dracup 등(1980)은 Askew의 연구를 재검토하여 Askew의 결론이 오류인 이유를 증명하고 있다.

Millan과 Yevjevich(1971)에 의해 얻어진 모형을 이용하여 한발의 추계학적인 성향을 평가하고자 한다. 이 방법의 절차를 정리하면 먼저 한 계측 지점에서의 연속된 연 유출량 자료로부터 평균, 표준편차, 왜곡도계수, 일차계열상관계수 등을 결정한다. 이들 통계치에 기반을 두고 AR(1)모형을 사용하여 연 유출량 자료를 발생시킨다. 모의 발생된 자료를 분석하여 표본 자료의 기록년과 기본 수준에 대해 한발의 최대 연속 기간과 최대 연속 크기를 결정한다.

최근의 연구(Horn과 Dieziger-Kim, 1985)는 Millan과 Yevjevich에 의해 구해진 이론적, 실험적 결과가 한발의 추계학적 행태를 평가하는데 손쉽게 적용될 수 있는 적절한 방법을 제시한다고 결론을 내렸다.

이 방법은 관측 지점에서의 연유량 계열로부터 평균, 표준편차, 왜곡도계수(g), 그리고 일차계열 상관계수(r_1)를 결정하고 이들 통계치에 근거한 연유량의 일차 자기회귀모형을 적용하는 방법으로서 Millan과 Yevjevich는 일정한 범위의 g 와 r_1 값을 갖는 95,000년의 표준화된 유량 자료를 발생시켰다. 그들은 이를 실험적 자료군으로 사용하여 다양한 표본 길이, N 과 기준 q_0 에 대하여 최대 연속 기간, L_{max} 와 표준화된 최대 연속합, D_{max} 는 다음 식과 같이 실제 연속합, S_{max} 와 관계된다.

$$S_{max} = D_{max} \cdot S_x \quad (3)$$

주어진 크기의 모든 표본에 대하여 L_{max} 와 D_{max} 의 중앙값 L_m , D_m 이 표본 크기, N 에 상응하는 것으로 보이는 주어진 재현기간 T 에 대한 한발특성의 척도로 사용된다. 실험적 결과는 이론적인 결과와 일치하는 것으로 평가되고 있으며, L_m 과 D_m 을 N , q_0 , g 와 r_1 값에 관계시키는 일련의 식으로 요약하여 제시하고 있다.

L_m 과 D_m 이 자료 기간 N 을 갖는 여러 표본에

서 추출된 L_{max} 와 D_{max} 의 중앙값을 나타내므로, 자료 기간 N 년의 임의의 단일 기록에서 50%의 초과확률을 갖는 것으로 가정할 수 있다. 또한 중앙값 부근에 위치한 확률 한계를 사용함으로써 다른 초과위험도를 갖는 한발을 L_m 과 D_m 을 결정하는데 사용된 것과 동일한 통계치와 관계를 정립할 수 있다.

3. 분석 대상 관측소의 선정과 유량 환산

우리나라의 수문관측의 역사는 조선 시대에 까지 거슬러 올라가며, 일제시대에 근대적인 수문관측 체제가 들어선 이후 기록상 나타나는 수위 관측 지점은 수백 개소에 이른다. 일제시대 이후 정규적인 수문 관측 체제에 의해 일반적인 목적으로 관측이 이루어진 지점으로서 본 연구에서 자료를 입수한 지점의 수는 484개소에 이른다. 이 중에서 수위-유량 환산을 위한 유량 측정 자료가 존재하는 지점은 279개소로서 절반을 약간 넘는 수준이다. 그러나 이와같이 수위-유량 환산관계가 있는 지점이라고 하더라도 실제 관측된 범위의 수위를 유량으로 환산할 수 없는 경우가 많으며, 또한 수위의 부분적인 결측으로 인해 본 연구의 분석을 위해 필요한 연속된 장기간의 자료를 확보할 수 있는 경우는 상대적으로 훨씬 줄어든다.

3.1 연속 분석을 위한 이론적인 관측 지점의 선정 기준

연속 분석을 위한 장기간 유량 자료의 확보는 연구 결과의 신뢰성 유지를 위한 결정적 관건이다. 비록 제대로 구성된 관측 체제를 유지하고 있더라도 현재 가용한 자료의 범위는 대부분 수십년에 불과하며, 인류의 수문관측 역사는 수문순환 과정의 단편에 불과하다고 할 수 있다. 또한 관측된 기록 중 상당수는 다양한 이유로 본 연구에서 수행하는 것과 같은 연속 분석의 적용에 적합하지 못하다.

이후에 기술하는 바와 같이 제한된 자료 기간을 대상으로 직접 한발 특성을 분석할 경우 뿐만 아니라 이 자료를 근거로 자료 기간을 연장하고 한발 특성을 규명하기 위한 추계학적 모형을 적용하기 위해서는 자연 유출량(natural flow) 기록으로부터 연유량 특성치를 정확하게 결정해야만 한다. 여기에서 '정확한'이란 표현은 표본의 통계치를 적절히 정의할 수 있고, 모형화에서 매개변수의 제한 조건을 만족할 정도로 충분히 큰 표본 크기를 갖는 양질의 자료임을 의미한다. '자연'이란 유출 기록이 하천수의 점용 또는 저류 등에 의한

인위적 조절 등에 의해 영향을 받지 않은 것임을 의미한다.

이러한 고려 사항에 근거하여 연속 분석에 가용한 기록을 선정하는 일련의 이론적인 기준을 자료기간, 기록의 질, 우회수 유출, 유량조절 등으로 설정하였다.

3.2 분석 지점의 선정과 유량 자료의 확보

본 연구에서는 한국건설기술연구원이 운영하고 있는 수문데이터베이스인 HISS로부터 수위 자료를 입수하였으며, 수자원관리기법개발연구조사 보고서의 별책 부록인 수위유량관계 곡선 자료집(한국건설기술연구원, 1994)과 지하수 감수곡선을 이용한 지하수 함양량 추정과 장기 갈수량 예측(이동률, 1995)에서 제시된 저수위 부분의 수위-유량관계를 사용하여 유량으로 환산하여 사용하였다. 일수위 자료를 수위-유량 관계를 이용하여 일유량으로 환산하고 이를 합산하여 연유량 자료를 구성하여 분석에 사용하였다. 표 2는 관측소별 자료 기간을 나타내고 있다.

4. 자료 확충(data augmentation)

한발기간을 포함하는 관측치가 전혀 없는 관측 지점에서는 평균 또는 표준편차와 같은 특성치가 장기 과정을 적절히 표현하지 못하는 것이 당연하며, 평균은 과대 평가되고, 표준편차는 과소하게 평가될 우려가 있다. 역으로 관측소가 저유량 기간중에만 운영되었다면 평균과 표준편차는 모두 과소 평가될 것으로 추론할 수 있다.

따라서 단기간 기록을 장기간으로 연장시키는 자료 확충 절차가 필요하며, 이러한 절차에는 다음과 같은 두가지 중요한 기능이 있다.

(1) 기록을 연장함으로써 실제 나타나는 습윤년과 건조년 주기의 지역적 발생을 보다 적절히 반영하는 역사적 기록과 유사한 자료를 생성할 수 있다.

(2) 자료 연장시에 주기성을 정확히 표현한다면 이 연장된 역사적 기록과 유사한 자료로부터 장기 유출 구조와 과정을 보다 적절히 나타내는 관측지점별 통계치의 계산이 가능해진다. 또한 자료 연장을 수행하는 추계학적 모형을 사용함으로써 단기간 공백을 채워 넣을 수 있으며, 연속 분석에 보다 적합한 연속된 유량 기록을 제공할 수 있다.

4.1 자료 확충 모형의 이론

지금까지 다양한 형태의 자료 확충모형들이 제안된

바 있다(Fiering, 1964; Lawrance, 1976). 일반적으로 이들은 모두 시간, 공간 종속성에 대한 고려를 포함하는 추계학적 다변량 모형으로 분류할 수 있다. 이들 가운데 하나인 Yevjevich(1975)에 의해 개발된 모형은 하천 유출에 대한 추계학적 모형화 작업에 의해 심도있게 검증된 바 있으며 다른 모형에 비해 특별한 장점이 있는 것으로 평가되고 있다.

이 모형은 다음 식에 의해 정의되는 구조를 갖는다.

$$Z_{w,t} = \gamma_w Z_{w,t-1} + (1 - \gamma_w^2)^{1/2} R_{N,1} \quad (4)$$

$$Z_{y,t} = \gamma_y Z_{y,t-1} + AR_{N,1} + BR_{N,2} \quad (5)$$

여기서, $Z_{w,t}$ 는 w 관측소의 표준화된 유량 값,

$Z_{y,t}$ 는 y 관측소의 표준화된 유량 값,

r_w 는 w 관측소의 1차계열 상관계수,

r_y 는 y 관측소의 1차계열 상관계수이고

$R_{N,1}$ 와 $R_{N,2}$ 는 표준정규분포의 난수이다.

그리고, A, B는 다음 식으로 결정되는 모형의 매개 변수이다.

$$A = \gamma_{wy} \frac{(1 - \gamma_w \gamma_y)}{(1 - \gamma_w^2)^{1/2}} \quad (6)$$

$$B = \left[1 - \gamma_y^2 - \frac{\gamma_{wy}^2 (1 - \gamma_w \gamma_y)^2}{1 - \gamma_w^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

여기서, r_{wy} 는 두 지점 유량간의 상호 상관계수이다.

이 모형은 상호-상관뿐 아니라 각각의 관측소 통계치(\bar{X} , S_x 그리고 r)를 유지하며, 다음의 조건에 위배되지 않는 한 사용할 수 있다.

$$\gamma_{wy}^2 \leq \frac{(1 - \gamma_y^2)(1 - \gamma_w^2)}{(1 - \gamma_y \gamma_w)^2} \quad (8)$$

자료 확충 모형을 적용하기 위해서는 실측 자료를 갖는 주관측소가 있어야 하며 w 관측소로 표기되며, 자료 확충을 해야 할 종속관측소는 y 관측소로 설정된다. 여기에서 $R_{N,1}$ 는 사실상 무작위 변수가 아니며 식(9)에 의해 주관측소 시계열로부터 정의된다.

$$R_{N,1} = \frac{Z_{w,t} - \gamma_w Z_{w,t-1}}{(1 - \gamma_w^2)^{1/2}} \quad (9)$$

이것을 식(5)에 대입하면 다음의 자료 확충 공식이 구해진다.

$$Z_{y,t} = \gamma_y Z_{y,t-1} + C(Z_{w,t} - \gamma_w Z_{w,t-1}) + BR_{N,2} \quad (10)$$

여기서, C는 $A(1 - \gamma_w^2)^{1/2}$ 이다.

종속관측소에서 시간 진행 방향으로 자료를 연장하려면 그 관측소에서 마지막으로 관측된 값을 $Z_{y,t-1}$ 로 입력하고 $Z_{y,t}$ 를 계산하는 모형을 사용한다. 주관측소의 앞서 발생시킨 종속관측소의 값을 사용하여 단계적 방법으로 적용을 반복한다. 실측자료보다 앞선 시간으로 종속관측소 기록을 연장하는 역방향 확충의 경우에는 시간을 나타내는 첨자를 바뀌놓음으로써 간단하게 이루어진다. 이 모형은 표준화된 유량값을 발생시키며, 다음의 식으로 실제 유량으로 환산해야 한다.

$$X_{y,t} = \overline{X}_y + S_y Z_{y,t} \quad (11)$$

여기에서 \overline{X}_y 와 S_y 는 y 관측소 연유량의 평균 및 표준편차이다.

자료의 정규성에 대한 가정은 이 모형이 갖는 기본적인 특성이며, 따라서 두 지점의 연유량 계열이 모두 정규분포를 따라야 이 모형을 적용할 수 있다. 정규분포를 따르지 않는 계열의 경우에는 변수를 간단하게 변환함으로써 정규성을 확보할 수 있으며, 최종적으로 발생된 값을 역변환시키면 원래의 값을 구할 수 있다.

4.2 관측소의 조합

종속관측소의 자료발생에 앞서 주관측소와 종속관측소의 적절한 조합이 필요하다. 기본적으로 이것은 종속관측소에서 자료를 연장하거나 채워넣는데 사용하기에 가장 적합한 장기간 자료를 갖는 주관측소를 찾아내는 작업이다. 많은 관측소를 대상으로 적절한 관측소의 조합을 탐색하는 과정에는 상당히 많은 작업이 요구되므로 적절한 선정 기준에 의한 관측소에 대한 사전 분류가 필요하다. 따라서, 관측소의 위치, 설명되지 않는 분산, 관측소의 수문학적 유사성, 자료기간의 중첩, 모형의 제약조건 등의 선정 기준을 설정하였다.

이와같은 일반적 선정 기준에도 불구하고 본 분석에서는 상기한 모든 선정 기준을 거의 고려할 수 없었다. 실제로 연유량 자료 계열을 구성한 관측 지점의 수는 총 33개에 불과하며, 이들 관측 지점은 전국에 걸쳐 분포하는 것으로서 이론적으로는 최소한 수계별로 관측소를 분류해야 하지만 이렇게 할 경우 비교할 수 있는 관측 지점이 극소수에 불과하므로 사실상 관측소 조합의 선정에서는 설명되지 않는 분산 즉, 식(10)의 BRN,2항은 모형에서 설명되지 않는 $Z_{y,t}$ 의 전체 분산의 일부에 관련된 잔여 오차를 나타낸다. 설명되지 않는 분산의 실제 부분은 B^2 이며 $B^2=0$ 일때 종속관측소의 값을 완벽하게 예측하는 것으로 가정된다. 식(7)로부터 B^2 의 값은 r_w , r_y 와 r_{wy} 의 함수임을 알 수 있으며, 모형구축에서 하나의 목표는 B^2 을 최소화하는 것이다. 일반적으로 $B^2 \leq 0.30$ 이라는 임의의 관계를 관측소 조합 선정의 기준으로 설정하고 있으며, 이것은 모형을 적용하여 적어도 70% 이상 종속변수의 분산을 설명할 수 있어야 함을 근거하여 관측소 조합을 선정하였다.

4.3 모형의 적용 조건

자료 확충 절차에 앞서 모형의 기본적 가정인 정규성 검사를 검토하여야 한다. 이와같은 절차는 유량 자료 계열의 왜곡도계수를 검사함으로써 이루어진다. 정규성 가정을 만족시키기 위해서는 왜곡도계수가 일정한 유의성 기준하에서 왜곡도 계수가 0과 다르지 않다는 조건을 만족해야 한다. 이와같은 가설을 95% 신뢰한계를 사용하여 검정할 경우 왜곡도계수는 다음 식으로 주어지는 범위내에 들어야 한다.

$$0 \pm 1.96 \left(\frac{6}{N} \right)^{1/2} \quad (12)$$

왜곡도계수가 이 한계를 벗어나는 경우 정규성 가설은 기각되며 이러한 관측소를 사용하기 위해서는 변수변환이 필요하게 된다. 이 조건을 만족하는 유량 계열은 정규분포를 따르는 것으로 간주된다.

계열상관계수 값에 대한 검사도 Anderson(1941)에 의해 정의되는 왜곡도계수 0의 95% 신뢰 한계를 사용하여 수행한다.

$$\frac{-1 \pm 1.96(N-2)^{1/2}}{N-1} \quad (13)$$

계열상관계수가 음의 값을 갖는 경우 일정한 유의수준하에서 0과 다르지 않을 경우 모든 음의 값은 0으로 가정한다. 이것은 음의 계열상관계수에 대한 물리적 근거가 사실상 없기 때문이다.

일부 지점의 경우 정규분포 보다는 대수정규분포에 적합한 것으로 나타나지만 관측소 조합의 제한된 개수 때문에 본 분석에서는 모두 정규분포를 따르는 것으로 가정하였다.

두 관측소 모두 정규분포자료를 갖는 것으로 가정되는 모든 관측소 조합에서 모형의 매개변수는 다음에 근거하여 산정한다.

- (1) 전체 표본기간으로부터 구한 관측소의 \bar{X} 와

S_x 값

- (2) 전체 표본기간으로부터 구한 관측소의 r값
- (3) 두 지점에서 공통되는 기간 기록의 통계적 분석으로부터 결정되는 r_{xy} 값

4.4 자료 확충의 결과

본 분석에서는 자료 확충 작업을 두 단계로 나누어 실시하였다. 우선 관측 자료가 존재하는 기간내에 결측 기간이 끼어 있는 연도를 대상으로 자료를 채워 넣은 다음, 자료 기간을 시간의 전후로 연장하는 작업을 수행하였다. 첫 단계 작업에서는 식(5)에서 종속관측소의 무작위 변수를 무시하고 주관측소의 실측 자료와 종속

표 3. 자료 연장 전후의 통계치 비교

(단위 : m³/sec)

관측소 이름	관측소 코드	자료연장전					자료연장후				
		자료수	평균	표준 편차	왜곡도	1차계열 상관계수	자료수	평균	표준 편차	왜곡도	1차계열 상관계수
고 안	013600	27	787.922	382.868	-0.041	0.389	41	740.995	356.705	0.094	0.355
청 평	014150	39	322.283	201.084	0.754	0.488	39	322.283	201.084	0.754	0.488
홍 천	014500	29	34.377	18.168	0.560	0.505	29	34.377	18.168	0.560	0.505
여 주	016450	40	189.048	106.004	0.357	0.437	40	189.048	106.004	0.357	0.437
횡 성	016850	21	27.827	19.064	2.862	-0.025	21	27.827	19.064	2.862	-0.025
충주 1	017491	13	236.885	79.402	0.169	-0.109	13	236.885	79.402	0.169	-0.109
후 포	018100	23	45.007	20.280	0.691	0.254	23	45.007	20.280	0.691	0.254
영 월	019100	37	105.601	59.788	1.702	0.637	37	105.601	59.788	1.702	0.637
진 동	020980	42	325.186	118.706	-0.044	-0.045	42	325.186	118.706	-0.044	-0.045
정 압	021150	39	56.876	26.814	0.061	0.268	39	56.876	26.814	0.061	0.268
독 산	021460	18	59.877	20.364	0.228	0.005	18	59.877	20.364	0.228	0.005
함 천	023000	20	16.510	6.771	-0.395	0.412	32	13.642	7.150	0.035	0.563
현 풍	023880	42	195.949	69.979	-0.275	-0.205	42	195.949	69.979	-0.275	-0.205
왜 관	024700	39	189.161	72.375	0.002	0.264	39	189.161	72.375	0.002	0.264
선 산	025050	28	18.382	9.392	0.270	0.345	42	19.608	8.825	-0.144	0.350
낙 동	025480	38	105.981	64.100	1.311	0.622	42	94.527	72.467	0.595	0.637
용 곡	025550	23	32.877	17.352	0.522	0.476	42	48.056	36.614	1.097	0.763
접 춘	026720	28	16.011	9.835	0.963	-0.048	28	16.011	9.835	0.963	-0.048
달 지	026950	32	125.269	47.553	0.706	0.249	32	125.269	47.553	0.706	0.249
월 포	027350	25	21.520	10.795	1.928	0.155	41	19.934	11.390	0.473	0.210
구 압	032450	40	271.954	174.116	1.154	0.453	40	271.954	174.116	1.154	0.453
공 주	033550	41	136.113	62.476	0.343	0.169	41	136.113	62.476	0.343	0.169
식 화	034290	14	47.384	24.451	2.555	-0.083	35	40.420	22.723	1.542	0.222
용 담	039100	14	24.848	6.277	0.880	0.007	42	25.854	9.085	0.532	0.172
나 주	043800	41	125.871	127.331	1.349	0.809	41	125.871	127.331	1.349	0.809
마 릉	046250	39	18.087	16.658	3.093	0.378	39	18.087	16.658	3.093	0.378
송 정	051240	38	106.763	49.142	0.516	0.339	38	106.763	49.142	0.516	0.339
적 성	055900	22	27.531	25.754	3.431	0.026	22	27.531	25.754	3.431	0.026
오 수	056150	18	6.083	3.221	0.235	0.309	42	10.839	8.423	1.192	0.736
회 화	064500	23	4.893	4.684	1.393	0.300	41	7.984	5.846	0.340	0.629
양 령	068600	40	23.829	18.681	0.639	0.575	40	23.829	18.681	0.639	0.575

관측소의 실측 또는 확충된 자료를 기준으로 시간 진행 방향으로 실시하였다. 두 번째 단계에서는 식(5)의 무작위 변수를 포함하여 시간 진행 방향 또는 역방향으로 확충하였다. 일제 말기부터 6.25를 전후한 기간에는 상당한 기간에 걸쳐 전체 관측소의 자료가 결측되어 있기 때문에 자료 확충이 사실상 불가능한 상태이다. 해방 이전에도 일부 관측소의 자료가 있으나 자료기간이 거의 일치하므로 자료 확충 대상에서 제외하였다.

결과적으로 당초 1383 관측소-년이던 자료가 첫 번째 단계에서 40 관측소-년, 두 번째 단계에서 95 관측소-년을 확충하여 최종적으로 1518 관측소-년의 자료가 구성되었다. 표 3은 자료연장 전후의 통계치를 비교하여 수록한 것이다. 자료연장 전후의 통계치를 비교해보면 자료확충이 자료연장전의 통계치를 완전히 대체시키지는 못하고 있다.

5. 자기회귀 모형에 의한 장기 자료의 발생

5.1 자기회귀 모형의 기본 이론

자기회귀모형(autoregressive model)은 관측된 유량 자료 계열이 수문학적 특수성을 가질 경우에 발생하는 방법이다. 하천 유량은 시간 단위가 짧을수록 지속성이 강하게 나타나며, 연유량의 경우에도 관측 지점에 따라서는 강한 지속성을 나타내는 경우가 많다. 연속되는 두 유량간의 상관성의 정도는 이들 유량의 크기에는 무관하게 일정하다는 것이다. 실제로 있어서는 연속되는 두 개의 저유량간의 특수성이 고유량간의 특수성보다 높은 것으로 알려져 있으나 문제를 단순화하기 위해서 일반적으로 이러한 가정이 전제된다.

연속되는 유량간의 특수성을 표시하는 확정론적 성분은 다음과 같은 선형자기회귀식으로 표시될 수 있다.

표 4. 모의발생 전후재료의 통계치 비교

(단위 : m³/sec)

관측소	코드	원자료				발생자료			
		평균	표준편차	왜곡도계수	1차계열상관계수	평균	표준편차	왜곡도계수	1차계열상관계수
고 안	013600	634.820	347.384	-0.094	0.369	635.579	346.287	0.000	0.366
청 평	014150	291.525	176.250	0.211	0.478	291.903	175.753	0.000	0.475
홍 천	014500	38.870	30.406	2.944	0.239	38.350	29.579	0.000	0.236
여 주	016450	232.375	139.707	0.029	0.193	232.615	139.338	0.000	0.188
충주1	017491	185.622	75.894	0.042	0.233	185.757	75.686	0.000	0.229
후 포	018100	53.565	46.377	3.649	-0.028	52.329	44.781	0.000	-0.033
영 월	019100	108.754	62.094	0.206	0.527	108.895	61.919	0.000	0.525
진 동	020980	353.629	274.987	-0.013	0.064	354.050	274.393	0.000	0.058
정 압	021150	64.168	53.172	4.149	-0.061	61.493	51.123	0.000	-0.066
독 산	021460	56.856	23.771	-0.696	0.151	56.908	23.659	0.000	0.147
합 천	023000	13.862	7.150	0.180	0.528	13.878	7.130	0.000	0.526
현 풍	023880	204.312	103.142	-0.018	-0.088	204.448	103.020	0.000	-0.095
왜 관	024700	179.720	79.476	0.013	0.142	179.850	79.279	0.000	0.137
선 산	025050	22.889	23.214	5.268	-0.062	19.022	24.005	0.000	-0.067
용 곡	025550	50.675	40.046	0.544	0.545	50.748	39.909	0.000	0.543
섬 촌	026720	17.453	12.392	1.414	-0.154	17.457	12.345	0.000	-0.162
달 지	026950	122.408	49.606	-0.188	0.233	122.505	49.449	0.000	0.229
월 포	027350	20.142	10.413	-0.029	0.218	20.160	10.384	0.000	0.214
규 압	032450	276.101	179.202	-0.052	0.176	276.413	178.716	0.000	0.172
공 주	033550	137.977	62.881	0.063	0.102	138.074	62.740	0.000	0.096
식 화	034290	42.972	27.130	1.119	0.228	42.995	27.008	0.000	0.224
용 담	039100	29.303	24.329	5.311	-0.070	25.081	25.381	0.000	-0.075
나 주	043800	36.946	20.593	0.052	-0.453	36.963	20.642	0.000	-0.460
마 륵	046250	17.864	16.503	0.060	0.312	17.895	16.456	0.000	0.308
송 정	051240	120.799	80.090	3.378	0.016	119.293	77.680	0.000	0.011
적 성	055900	26.731	25.453	0.027	0.032	26.768	25.404	0.000	0.026
오 수	056150	11.859	10.680	1.714	0.349	11.846	10.569	0.000	0.345
희 화	064500	7.799	5.898	0.123	0.641	7.815	5.881	0.000	0.640

표 5. 관측지점별 재현기간에 따른 누가부족량, 연속기간

관측소	코드	누가부족량(m ³ /sec)					연속기간(years)				
		50	100	200	300	500	50	100	200	300	500
고 안	013600	2115.4	2747.8	3217.7	3537.8	3673.6	7	8	10	11	11
		1217.2	1538.6	1843.5	2048.2	2253.9	5	5	7	8	8
		675.8	820.5	1002.1	1115.3	1252.8	3	4	4	5	5
청 평	014150	1263.6	1682.4	1910.5	2053.9	2345.1	8	10	12	13	14
		687.8	930.6	1146.3	1245.7	1301.5	5	7	8	9	10
		317.7	425.8	541.5	586.0	668.6	3	4	5	6	7
홍 천	014500	159.9	212.2	265.1	288.8	304.0	10	13	15	18	20
		50.5	64.0	78.3	88.2	99.8	6	8	9	11	12
		0	0.4	2.2	5.5	9.7	0	1	1	1	1
여 주	016450	681.3	876.9	1050.2	1124.7	1238.7	6	7	8	9	10
		408.5	499.7	621.1	666.7	748.2	4	5	5	6	7
		212.3	247.8	312.9	329.4	376.7	3	3	4	4	5
충주1	017491	414.1	518.8	615.9	656.9	733.3	6	7	8	9	10
		252.2	311.8	366.6	408.5	459.5	4	5	6	6	7
		132.9	173.0	210.5	233.4	258.3	3	3	4	4	5
후 포	018100	186.7	231.9	273.5	295.4	326.9	10	12	14	15	17
		33.2	39.1	46.6	49.4	54.3	5	6	7	8	8
		0	3.3	12.5	14.3	14.3	0	1	1	1	1
영 월	019100	479.2	640.3	734.1	820.3	876.3	9	11	13	14	15
		262.7	358.1	438.8	472.2	500.9	6	7	9	10	11
		119.6	163.1	210.2	226.3	266.9	3	4	5	6	7
진 농	020980	1122.9	1411.8	1697.7	1952.7	2060.6	5	7	8	8	9
		673.3	791.9	916.7	1071.3	1096.6	4	5	5	6	7
		313.8	333.1	421.9	446.9	470.8	3	3	3	4	4
정 압	021150	204.8	252.1	306.4	322.8	353.4	10	13	15	17	18
		41.6	42.5	47.4	49.6	53.2	4	5	6	6	7
		14.0	18.4	18.4	18.4	18.0	1	1	1	1	1
독 산	021460	114.0	140.4	170.7	187.1	200.1	5	6	7	8	8
		77.1	91.5	111.5	118.7	133.7	4	4	5	5	6
		46.8	58.6	71.2	76.6	84.9	2	3	3	4	4
합 천	023000	56.1	74.3	84.3	93.3	102.8	8	11	13	14	15
		30.2	42.3	52.0	55.8	59.7	6	7	9	10	11
		14.8	20.0	25.2	27.4	33.1	3	4	5	6	7
현 풍	023880	404.3	485.4	562.4	611.9	676.5	5	6	7	7	8
		252.7	300.8	345.9	376.8	430.7	3	4	5	5	6
		128.7	159.7	187.2	217.8	238.1	2	2	3	3	3
왜 관	024700	384.9	470.4	570.2	611.7	698.0	5	7	8	8	9
		241.6	290.8	348.0	373.3	427.0	4	4	5	6	7
		130.1	163.8	193.1	222.3	241.5	2	3	3	4	4
선 산	025050	84.9	104.2	125.6	132.5	150.8	11	15	17	18	22
		13.9	17.5	23.3	23.9	23.9	2	2	2	3	3
		2.0	2.0	2.0	3.4	4.0	1	1	1	2	2
용 곡	025550	310.6	392.1	504.4	559.8	583.3	9	12	15	15	16
		156.5	217.8	260.7	287.8	317.3	6	8	10	11	13
		57.4	76.0	92.8	103.9	117.5	4	5	6	7	7
점 촌	026720	43.9	54.6	64.5	70.0	76.3	6	7	8	9	10
		19.9	23.1	26.5	28.3	30.3	4	4	5	6	6
		7.1	7.1	7.3	7.6	7.9	2	2	2	2	3
달 지	026950	271.1	335.0	408.9	443.9	495.7	6	7	8	9	10
		167.7	208.2	251.1	277.8	305.9	4	5	5	6	7
		93.6	121.5	148.1	163.7	173.65	3	3	4	4	5
원 포	027350	53.2	67.3	82.1	89.0	96.4	6	7	8	9	10
		32.5	40.4	47.2	55.0	58.8	4	5	6	6	7
		17.6	22.5	26.0	29.1	31.6	3	3	4	4	5

표 5의 계속

관측소	코드	누가부족량(m ³ /sec)					연속기간(years)				
		50	100	200	300	500	50	100	200	300	500
규 암	032450	846.1	1053.8	1292.5	1423.9	1540.1	6	7	8	9	10
		504.4	614.7	781.2	821.3	941.7	4	5	5	6	7
		261.9	293.5	370.7	400.3	460.5	3	3	4	4	5
공 주	033550	288.5	358.0	437.9	468.2	522.9	5	7	8	8	9
		184.2	230.3	258.1	278.3	304.9	4	4	5	5	6
		97.0	120.2	143.6	167.7	173.4	2	3	3	3	4
석 화	034290	148.6	188.7	222.0	239.9	261.8	8	9	11	11	14
		70.5	88.6	108.6	122.3	133.8	5	5	7	8	8
		26.3	35.1	41.3	46.1	50.2	3	3	4	5	5
용 담	039100	85.8	107.6	129.3	138.9	157.9	11	14	17	18	20
		18.0	22.6	28.6	33.7	34.9	2	2	2	3	3
		6.9	6.9	6.9	8.6	13.8	1	1	1	2	2
나 주	043800	59.4	66.6	77.1	83.7	90.0	4	5	5	6	6
		32.0	37.8	44.3	47.3	52.1	3	3	3	3	4
		20.3	20.3	21.8	25.7	27.5	2	2	2	2	2
마 륵	046250	84.5	112.8	127.6	137.3	150.9	7	8	10	11	12
		45.2	55.2	66.1	77.8	84.6	5	6	7	8	8
		19.2	20.7	26.6	31.3	36.2	3	4	5	5	6
송 정	051240	342.0	422.1	498.5	526.5	609.5	9	11	14	15	16
		69.2	85.8	100.2	115.2	122.8	5	6	7	8	8
		0	0	8.2	16.3	33.1	0	0	1	1	1
적 성	055900	98.1	120.2	148.2	167.6	182.0	5	7	8	8	9
		56.4	64.9	77.6	86.9	95.2	4	5	5	6	7
		19.9	26.1	29.8	29.8	32.5	3	3	3	4	4
오 수	056150	70.1	87.5	101.6	110.4	124.7	9	12	14	15	17
		28.2	36.8	45.3	52.0	56.2	6	7	9	10	11
		6.0	7.9	10.1	12.4	13.7	3	3	4	5	6
회 화	064500	50.1	65.0	86.9	92.7	94.9	10	13	15	17	18
		28.5	38.1	45.3	49.3	55.8	7	9	10	11	13
		10.9	16.1	19.2	23.0	24.3	4	6	7	8	9

주) 각 관측지점별로 3개의 행이 수록되어 있으며, 각행은 순서대로 $q_0=0.50, 0.35, 0.20$ 에 해당하는 것을 나타내는 것이다.

$$d_t = \beta_0 + \beta_1 Q_{t-1} + \beta_2 Q_{t-2} + \dots + \beta_m Q_{t-m} \quad (14)$$

여기서 Q_t 는 유량이며 β 는 회귀상수이다. 또한 d_t 는 m 개의 선행유량의 선형조합으로 표시되는 유량의 확정론적 성분이며 가장 간단한 경우에는 $m=1$ 일 때의 다음과 같은 1차 자기회귀 모형이다.

$$Q_t = \beta_0 + \beta_1 Q_{t-1} + e_t \quad (15)$$

식(15)로 표시되는 모형에서는 현 시점에서의 유량이 바로 전 시점에서의 유량에 의해서만 영향을 받는다고 가정하는 것으로써 실제와는 어느 정도 차이가 있으나 연속되는 유량간의 독립성을 가정하는 모형보다는 정확한 결과를 줄 뿐 아니라 모형 자체가 단순하므로 여러 가지 수자원 계획을 위한 유량의 모의 발생

에 가장 많이 사용되어 왔다.

관측치의 유량의 평균을 \bar{Q}_t , 표준편차를 S_Q , 1차 계열상관계수를 r_1 이라 할 때, 2변수 Gamma 분포를 사용하여 장기간의 유량 자료(Q)를 발생하는 모형의 구조는 다음과 같다(윤용남, 1998).

$$Q = \bar{Q}_t(1-r_1) + r_1 Q_{t-1} + g_t S_Q \sqrt{1-r_1^2} \quad (16)$$

여기에서 g_t 는 표준정규난수 z_t 를 감마 분포를 갖는 난수로 변환한 것이다.

5.2 장기 자료의 발생

본 연구에서는 2변수 감마분포를 갖는 1차 자기회귀 모형을 이용하여 음연속 분석을 위한 10,000년간의 장기 유량 자료를 발생하였다. 장기 유량 자료를 발생하기 위한 모형의 매개변수는 앞 장에서 기술한 확충된

표 6. 기록 한발의 발생확률

관측소	코드	유량수준	D_{max} (m^3/sec)	T	L_{max} (years)	관측소	코드	유량수준	D_{max} (m^3/sec)	T	L_{max} (years)
고 안	013600	$q_0 = 0.5$	2432.6	66.1	8	용 곡	025550	$q_0 = 0.5$	86.6	8.1	5
		$q_0 = 0.35$	890.1	19.0	3			$q_0 = 0.35$	30.0	5.7	4
		$q_0 = 0.2$	419.8	24.4	3			$q_0 = 0.2$	17.9	9.3	2
청 평	014150	$q_0 = 0.5$	1552.0	80.1	11	점 춘	026720	$q_0 = 0.5$	15.0	5.6	2
		$q_0 = 0.35$	701.9	32.8	7			$q_0 = 0.35$	14.3	23.0	3
		$q_0 = 0.2$	104.7	10.1	3			$q_0 = 0.2$	4.9	1.4	2
홍 천	014500	$q_0 = 0.5$	134.1	36.2	9	달 지	026950	$q_0 = 0.5$	278.8	51.1	7
		$q_0 = 0.35$	83.3	248.0	6			$q_0 = 0.35$	151.5	52.2	5
		$q_0 = 0.2$	36.3	2.0	5			$q_0 = 0.2$	31.8	16.6	3
여 주	016450	$q_0 = 0.5$	1277.9	78.2	9	월 포	027350	$q_0 = 0.5$	34.9	13.7	4
		$q_0 = 0.35$	793.3	633.6	9			$q_0 = 0.35$	23.2	29.5	3
		$q_0 = 0.2$	123.7	9.1	4			$q_0 = 0.2$	12.9	26.5	2
충주1	017491	$q_0 = 0.5$	430.6	48.4	7	규 압	032450	$q_0 = 0.5$	1598.3	688.4	14
		$q_0 = 0.35$	163.8	29.5	4			$q_0 = 0.35$	471.3	46.1	7
		$q_0 = 0.2$	58.6	21.2	2			$q_0 = 0.2$	108.4	9.8	2
후 포	018100	$q_0 = 0.5$	53.9	5.7	5	공 주	033550	$q_0 = 0.5$	151.8	14.4	4
		$q_0 = 0.35$	17.6	12.5	2			$q_0 = 0.35$	90.2	10.5	3
		$q_0 = 0.2$	21.6	303.2	2			$q_0 = 0.2$	48.1	10.4	1
영 월	019100	$q_0 = 0.5$	436.4	26.1	9	석 화	034290	$q_0 = 0.5$	206.0	144.3	13
		$q_0 = 0.35$	247.1	11.3	8			$q_0 = 0.35$	67.6	44.0	5
		$q_0 = 0.2$	33.7	9.7	3			$q_0 = 0.2$	26.5	59.6	3
진 동	020980	$q_0 = 0.5$	701.9	13.7	7	용 담	039100	$q_0 = 0.5$	34.7	7.2	5
		$q_0 = 0.35$	344.1	12.1	3			$q_0 = 0.35$	24.2	98.3	3
		$q_0 = 0.2$	40.5	4.43	1			$q_0 = 0.2$	12.0	766.8	2
정 압	021150	$q_0 = 0.5$	177.4	27.8	6	나 주	043800	$q_0 = 0.5$	55.8	44.0	3
		$q_0 = 0.35$	115.3	88.2	6			$q_0 = 0.35$	31.5	45.4	3
		$q_0 = 0.2$	31.7	148.0	2			$q_0 = 0.2$	12.2	10.7	1
독 산	021460	$q_0 = 0.5$	19.5	6.2	1	마 륵	046250	$q_0 = 0.5$	87.1	45.1	12
		$q_0 = 0.35$	11.6	5.2	1			$q_0 = 0.35$	21.1	9.1	5
		$q_0 = 0.2$	21.8	10.3	2			$q_0 = 0.2$	3.9	21.9	1
합 천	023000	$q_0 = 0.5$	47.8	24.4	6	송 정	051240	$q_0 = 0.5$	282.5	48.1	8
		$q_0 = 0.35$	31.3	42.7	6			$q_0 = 0.35$	113.2	315.7	3
		$q_0 = 0.2$	12.5	37.5	2			$q_0 = 0.2$	53.5	1549.7	2
현 풍	023880	$q_0 = 0.5$	386.0	44.6	6	석 성	055900	$q_0 = 0.5$	141.8	168.9	12
		$q_0 = 0.35$	188.3	26.2	3			$q_0 = 0.35$	29.5	14.8	4
		$q_0 = 0.2$	77.1	15.2	2			$q_0 = 0.2$	0	2.3	1
왜 관	024700	$q_0 = 0.5$	306.9	31.0	4	오 수	056150	$q_0 = 0.5$	22.1	3.8	5
		$q_0 = 0.35$	214.1	54.9	3			$q_0 = 0.35$	8.8	6.9	2
		$q_0 = 0.2$	103.4	28.2	3			$q_0 = 0.2$	2.9	19.5	1
선 산	025050	$q_0 = 0.5$	31.7	6.34	4	회 화	064500	$q_0 = 0.5$	68.5	106.7	12
		$q_0 = 0.35$	19.9	152.4	3			$q_0 = 0.35$	41.5	145.1	12
		$q_0 = 0.2$	10.1	49.5	3			$q_0 = 0.2$	13.2	54.4	6

자료를 사용하였다. 매개변수의 산정에 앞서 유량 자료의 신뢰성을 검토하기 위하여 자료 기간별로 유출률을 산정하였다.

여기에서 유출률 계산에 사용된 강우량은 지점별 구분없이 전국 평균값을 사용하였으므로 강우의 공간적 변동성을 적절히 고려하지는 못하는 값이다. 그러나 일부 지점에서 기간별 유출률은 100%를 훨씬 초과하는 경우가 있으며, 또한 해방전후의 유출률이 판이하게 달리 나타나는 경우가 있었다. 이러한 지점들은 환산된 유량 자료에 결정적 문제가 있는 것으로 판단하여 모의 발생 모형의 매개변수 산정 또는 음 연속 분석 대상에서 제외하였다. 결과적으로 30개 지점의 장기 유량 자료를 모의 발생하였으며, 표 4에 이들 자료의 통계치를 비교하여 수록하였다.

6. 관측지점의 한발 위험도 평가

앞에서 기술한 바와 같이 각 관측지점의 기록을 이용하여 장기간의 유량계열을 모의발생하였다. 기존 유량의 수준은 $q_0 = 0.50, 0.35, 0.20$ 등 세가지를 적용하였으며, 기존 유량은 관측소별로 산정된 통계치로부터 식(2)를 사용하여 계산하였다. 각 재현기간을 대표하는 한발특성은 각 재현기간과 동일한 기간의 표본으로부터 추출된 음의 연속의 누가량과 지속기간의 중앙값으로 정의하였다. 따라서 100년빈도의 한발은 총 10,000년의 모의발생된 유량으로부터 추출한 100개의 최대 한발사상의 중앙값으로 나타내었다.

다양한 재현기간을 고려하기 위하여 표본의 크기를 변화시켜가면서 대표 한발특성을 계산하였으며, 표 5는 이렇게 계산된 각 지점별 재현기간에 따른 한발특성, 즉 누가부족량과 연속기간을 수록한 것이다. 표에서 보이는 바와 같이 유량기준을 낮추어 선정함에 따라 누가부족량과 지속기간은 감소하며, 재현기간이 증가함에 따라 증가하게 된다.

한편 표 6은 과거 기록으로부터 최대 한발사상에서 최대 누가부족량과 최대 지속기간을 추출하여 수록한 것이다. 여기에서 각 한발특성에 주어진 재현기간은 모의발생된 장기간의 자료로부터 다양한 재현기간을 대표하는 한발특성을 구하고 재현기간-누가부족량 관계를 구하여 이 관계로부터 산정한 값이다.

7. 결 론

한발을 정의하기 위해 한발을 지속기간과 누가부족량이라는 두가지 성분으로 정의하는 음연속이론을 적

용하였다. 음연속이론의 적용에 앞서 초기 분석단계에서 분석자료의 구성에 많은 노력을 기울였으며, 일수위 자료로부터 수위-유량관계식을 이용하여 환산하여 총 33지점의 연유량 자료를 구성하였다. 이들 관측자료의 기간은 상당수의 결측기간이 포함되어 있으며, 또한 자료기간이 상대적으로 짧은 관측지점이 있으므로 통계학적 다변량 모형을 이용하여 확충하였다.

확충된 자료로부터 자기회귀형 모형을 이용하여 장기간의 연유량자료를 모의발생하였으며, 이들 자료를 대상으로 음연속이론을 적용함으로써 각 관측지점별 다양한 유량기준에 대한 물부족의 지속기간과 누가량을 다양한 재현기간에 대하여 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 음 연속 분석이 가능한 연유량계열을 구성하였으며, 이들 자료를 분석하여 다변량 모형으로 결측치를 보완할 수 있는 관측소 조합을 구성하고 통계학적 방법에 의해 자료기간을 10%이상 확충하였다.

(2) 연유량계열의 2변수 감미분포를 가정하고 통계학적 1차 자기회귀모형을 적용하여 장기간의 유량자료를 발생하였으며, 발생된 실측자료의 통계적 특성을 비교적 잘 반영하는 것으로 나타났다.

(3) 발생된 장기자료를 음 연속분석함으로써 설정된 다양 유량기준에 대한 재현기간별 물부족의 지속기간과 누가 부족량을 평가하였다.

(4) 관측자료에서 발생한 한발특성치의 장기간 발생자료의 확률특성을 고려하여 평가하였다.

감사의 글

본 연구는 KOSEF(핵심)951-1201-014-2의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 윤용남 (1998). 공업수문학, 청문각.
- 이동률 (1995). 지하수 감수곡선을 이용한 지하수 함양량 추정과 장기 갈수량 예측. 박사학위논문, 고려대학교.
- 한국건설기술연구원 (1994). "수자원관리기법개발연구조사 수위유량 관계곡선 자료집." 4판.
- Anderson, R.L. (1941). "Distribution of the serial correlation coefficients." *Annals of Math. Statistics*, Vol. 8, No. 1.
- Askew, A.J., W. Yeh, and W.A. Hall (1971). "A comparative study of critical drought

- Simulation." *Water Resources Research*, Vol. 7, No. 1, pp. 52-62.
- Beard, L.R. and H.K. Kubik (1972). "Drought severity and water dependability." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 98(IR3), pp. 433-442.
- Dracup, John A., K.S. Lee, and E.G. Paulson, Jr. (1980). "On the definition of droughts." *Water Resources Research*, Vol. 16, No. 2, pp. 297-302.
- Fiering, M.B. (1964). "Multivariate technique for synthetic hydrology." *Journal of Hydraulics division*, ASCE, Vol. 90, No. HY5, pp. 43-60.
- Guerreor-Salazar, P., and Yevjevich, V. (1975). "Analysis of drought characteristics by the theory of runs." *Hydrology Papers 80*, Co. State Univ., Ft. Collins, Co..
- Gupta, V.K. (1975). "A stochastic analysis of extreme droughts." *Water Resources Research*, Vol. 11, No. 2, pp. 221-228.
- Herbst, P.H., D.B. Brendenkamp, and H.M. Barke (1966). "A technique in the evaluation of drought from rainfall data." *Journal of Hydrology*, Vol. 4, No. 3, pp. 264-272.
- Horn, D., and Dieziger-Kim D.(1985). "Analysis and generation of low-flow sequences for Idaho streams using disaggregation modeling." *IWRRI Final Report*.
- Lawrance, A.J. (1976). "A reconsideration of the Fiering two-station model." *Journal of Hydrology*, Vol. 29, No. 1/2, pp. 77-85.
- Millan, J. and Yevjevich, V. (1971). "Probabilities of observed droughts." *Hydrology Papers 50*, Co. State Univ., Ft. Collins, Co..
- Yevjevich, V. (1975). "Generation of hydrologic samples, Case study of the great lakes." *Hydrology Paper 72*, Co. State Univ., Ft. Collins, Co..
- Whipple, W., Jr. (1966). "Regional drought frequency analysis." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 92, (IR2), pp. 11-31.

(논문번호:97-059/접수:1997.07.22/심사완료:1999.03.25)